# 相对湿度对间歇性偏热环境下肉鸡生长性能、行为及空肠形态结构的影响

厉秀梅　高　杰　冯京海　周　莹　张敏红*

（中国农业科学院北京畜牧兽医研究所，动物营养学国家重点实验室，北京 100193）

摘　要：本试验旨在研究相对湿度（RH）对 31 ℃偏热环境下肉鸡生长性能、行为及空肠形态结构的影响。试验选取 180 只 22 日龄爱拔益加肉鸡随机分成 3 组（Ⅰ组、Ⅱ组和Ⅲ组），转入环境控制舱，每组 6 个重复，每个重复 10 只鸡（公母各占 1/2）。预试期 7 d，舱内温度 21 ℃，RH 60%。正试期 14 d，从 29 日龄开始，每天 10:00—16:00（6 h）鸡舍环境温度都维持在 31 ℃保持不变，Ⅰ组、Ⅱ组和Ⅲ组 RH 分别为 30%、60%和 85%，剩余时间环境温湿度与预试期相同。结果表明：1）第 1~14 天，Ⅲ组平均日采食量（ADFI）、平均日增重（ADG）、平均日饮水量显著低于Ⅱ组（$P$<0.05）。2）试验第 1、7 和 14 天，Ⅱ组休息行为频次占比显著低于Ⅰ组和Ⅲ组（$P$＜0.05），Ⅱ组采食和饮水行为频次占比显著高于Ⅰ组和Ⅲ组（$P$<0.05）。3）试验第 1 和 7 天，Ⅰ组、Ⅲ组坐着休息行为占比显著低于Ⅱ组（$P$<0.05）；试验第 7 天，Ⅲ组伸展休息行为占比显著低于Ⅱ组（$P$<0.05），试验第 14 天，Ⅰ组、Ⅲ组伸展休息行为占比显著低于Ⅱ组（$P$<0.05）；试验第 1、7 和 14 天，Ⅰ组、Ⅲ组俯伏休息行为占比显著高于Ⅱ组（$P$<0.05）。4）Ⅲ组空肠绒毛高度/隐窝深度值显著低于Ⅰ组和Ⅱ组（$P$<0.05）。由此可见，31 ℃间歇性偏热环境下，不同 RH 对肉鸡生长性能、行为及空肠形态结构的影响不同，高湿对肉鸡 ADG、ADFI 和空肠形态结构的影响比低湿大，适宜的 RH 为 60%。

关键词：相对湿度；间歇性偏热环境；肉鸡；生长性能；行为；空肠形态结构

中图分类号：S831.4　　文献标识号：A　　文章编号：1006-267X（2017）10-0000-00

高温高湿会损伤家禽胃肠结构，引起家禽肝脏、气管病变及直肠和皮肤温度升高，导致家禽生产性能下降，严重危害家禽的生长和生产[1-3]。事实上，随着湿帘通风技术在我国规模化肉鸡舍内的普及应用[4]，夏季肉鸡舍内温度很少超过32 ℃。夏初夏末时节，在我国实际生产中，存在早晚较为凉爽中午偏热的间歇性环境。目前国内外相关的研究主要集中在32 ℃及以上持续高温热应激环境，并没有足够的重视偏热环境（26~31 ℃）的研究。有研究发现，

收稿日期：2017－03－13
基金项目：国家“十三五”重点研发计划课题“肉禽舒适环境的适宜参数及限值研究”（2016YFD0500509）；动物营养学国家重点实验室自主研究课题“热环境影响肉鸡健康生长的分子机制”（2004DA125184G1609）
作者简介：厉秀梅（1993－），女，山东青岛人，硕士研究生，研究方向为动物营养与饲料科学，E-mail: 1427256636@qq.com
*通信作者：张敏红，研究员，博士生导师，E-mail: zmh66@126.com

当温度高于家禽的热舒适区时，其个体间相隔距离加大，喘息或伸展翅膀（腿部）频率增加[5]。Mack等[6]发现持续热应激（32.6 ℃）下，蛋鸡采食量下降，体重下降，展翅、喘息、饮水行为增多。研究表明，持续热应激（35 ℃）会损伤十二指肠和空肠结构，降低绒毛高度、湿重和干重[7-8]。在适宜温度下，湿度可能对肉鸡生长和采食量并没有显著影响[9]，Milligan等[10]发现21 ℃时48%~90%的相对湿度（relative humidity，RH）没有显著影响肉鸡的体重，但是在高温下，结果可能会不同。研究发现，高温（>41 ℃）下随RH升高，家禽的体温不断升高[11]。Yahav等[12]研究表明，4~8周龄的肉鸡在35 ℃、60%~65% RH下采食量和生长率最高。本课题组研究发现，26和30 ℃时肉鸡坐着休息时间占比皆显著下降，俯伏休息时间占比皆显著升高[13]，持续偏热刺激不同程度地影响了免疫器官指数、小肠形态结构[14]、肠道菌群的结构和多样性[15]；而有关32 ℃以下间歇性偏热环境下RH对肉鸡行为和空肠形态结构影响的研究未见报道。因此，本试验将研究间歇性偏热（31 ℃）环境下，不同RH对肉鸡生长性能、行为及空肠形态结构的影响，探讨肉鸡对不同湿度的敏感性，为生产中肉鸡湿度环境调控提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验动物及试验设计

采用单因子试验设计，选取健康、体重相近的 22 日龄爱拔益加（AA）肉鸡 180 只，随机分成 3 组（Ⅰ组、Ⅱ组和Ⅲ组），转入 3 个环境控制舱内，每组 6 个重复，每个重复 10 只鸡（公母各 5 只），温度 21 ℃，RH 60%，适应 7 d。从 29 日龄开始，每天 10:00~16:00(6 h)，Ⅰ组、Ⅱ组和Ⅲ组温度为 31 ℃，RH 分别为 30%、60%和 85%，其余时间 3 组温度均为 21 ℃、湿度均为 60%，正式试验期 14 d。

### 1.2 饲养管理

环境控制舱内温度和 RH 自动控制（精度±1 ℃和±7%），无风，全天 24 h 光照。试验肉鸡使用本实验室研发的单层平养笼具[16]进行平养，每个笼子上方悬挂 1 个红外录像机（Best kebo BN-IPC4-3MD，北京），进行肉鸡行为的拍摄，拍摄视频由网络视频录像机（NVR）存储。试验期间，肉鸡自由采食、饮水。

### 1.3 试验饲粮组成和营养水平

试验所用饲粮为玉米－豆粕型饲粮，参照 NRC（1994）标准和《中国饲料成分及营养

价值表》(2013 年第 24 版)配制饲粮。基础饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（饲喂基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (as-fed basis)　　%

| 项目 Items | 含量 Content |
| --- | --- |
| 原料 Ingredients | |
| 玉米 Corn | 56.51 |
| 豆粕 Soybean meal | 35.52 |
| 豆油 Soybean oil | 4.50 |
| 食盐 NaCl | 0.30 |
| 石粉 Limestone | 1.00 |
| 磷酸氢钙 $CaHPO_4$ | 1.78 |
| *DL*－蛋氨酸 *DL*-Met | 0.11 |
| 预混料 Premix[1)] | 0.28 |
| 合计 Total | 100.00 |
| 营养水平 Nutrient levels[2)] | |
| 代谢能 ME/(MJ/kg) | 12.73 |
| 粗蛋白质 CP | 20.07 |
| 钙 Ca | 0.90 |
| 有效磷 AP | 0.40 |
| 赖氨酸 Lys | 1.00 |
| 蛋氨酸 Met | 0.42 |
| 蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys | 0.78 |

[1)]预混料为每千克饲粮提供 Premix provided the following per kg of the diet：VA 10 000 IU,$VD_3$ 3 400 IU,VE 16 IU,$VK_3$ 2.0 mg,$VB_1$ 2.0 mg,$VB_2$ 6.4 mg,$VB_6$ 2.0 mg,$VB_{12}$ 0.012 mg,泛酸钙 pantothenic acid calcium 10 mg,烟酸 nicotinic acid 26 mg,叶酸 folic acid 1 mg,生物素 biotin 0.1 mg,胆碱 choline 500 mg,Zn($ZnSO_4·7H_2O$) 40 mg,Fe ($FeSO_4·7H_2O$) 80 mg,Cu($CuSO_4·5H_2O$) 8 mg,Mn($MnSO_4·H_2O$) 80 mg,I(KI) 0.35 mg,Se($Na_2SeO_3$) 0.15 mg。

[2)] 计算值 Calculated values。

1.4 测定指标和方法

1.4.1 生长性能

正式试验期间每天记录各重复鸡的采食量和饮水量。试验开始、第 7 天和第 14 天称量各重复的肉鸡体重，计算试验期平均日增重（ADG）、平均日采食量（ADFI）、料重比（F/G）和平均日饮水量(ADWI)。

1.4.2 行为学指标的测定

通过观察，并借鉴胡春红[17]行为分类方法，将肉鸡行为分类，具体描述如表 2。

表 2 肉鸡行为类别及其定义

Table 2 Behavior of categories and their definition of broilers

| 行为分类 Behavior of categories | 行为定义 Behavior of definition |
| --- | --- |
| 饮水 Drinking | 用喙啄饮水嘴（乳头） |
| 采食 Eating | 头在饲槽上方用喙啄饲粮或头在饲槽上方瞬时停止采食后又继续啄料 |
| 修饰 Preening | 使用喙部碰触、摩擦、梳理胸部、背部或翅下羽毛 |
| 休息行为 Resting behaviors | |
| 坐着 Sitting | 肘关节或胸部着地、笼底，且头悬于颈上静止不动或有短暂地轻微摆动 |
| 俯伏 Prostration | 胸部着地或笼底，且颈部伏在地面(笼底)不动或头斜向伸长且嘴半开 |

| | |
|---|---|
| 伸展 Stretching | 身体同一面的 1 只翅膀伸展（半展）和 1 条腿伸出不动 |

正式试验的第 1、7 和 14 天进行 6 h 录像视频采集，从 6 h 视频中选取连续拍摄 1 h 的视频进行观察。采用瞬时扫描法，每 30 s 记录 1 次。每个重复中观察 6 只鸡（公母各 3 只），分别记录视频中各目标鸡各类别行为发生的频数。数据分析时，进行休息行为、采食行为、饮水行为和修饰行为发生频次各自占总行为频次的占比和各休息行为发生频数占总休息行为频数的百分比分析。同一人进行所有视频观察并记录数据，每次观察完各组中的 1 个重复后，再进行下一次重复的观察。

#### 1.4.3 肠道形态结构的测定

试验第 14 天，每组随机选取 6 只鸡（公母各 3 只，每个重复选取 1 只），取 2 cm 左右的空肠中段，用生理盐水冲洗净内容物，放在 4%多聚甲醛溶液中固定，用于测定空肠形态结构。进行常规脱水，石蜡包埋，切片，苏木精－伊红染色，最后封片。每组切片选择 6 根最长、隐窝形态完整的绒毛，计算每组的平均绒毛高度、隐窝深度和绒毛高度/隐窝深度（V/C）值。

### 1.5 数据统计分析

行为数据首先采用 Excel 进行简单的数据处理，采用对数对数据进行转换，肠道结构和生长性能数据先用 Univariate 过程做正态分布检验，对不符合正态分布的做数据转换。然后使用 SAS 9.1 统计软件，采用单因子方差分析(one-way ANOVA)和 Duncan 氏法多重比较进行分析。结果以“平均值±标准差”表示，$P<0.05$ 为差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 RH 对间歇性偏热环境下肉鸡生长性能的影响

RH 对间歇性偏热环境下肉鸡生长性能的影响结果列于表 3。由表可知，试验第 1~7 天，Ⅲ组 ADFI 和 ADG 显著低于Ⅱ组（$P<0.05$），Ⅰ组和Ⅲ组 ADWI 显著低于Ⅱ组（$P<0.05$）；第 8~14 天，Ⅲ组 ADFI 显著低于Ⅱ组（$P<0.05$），Ⅰ组 ADWI 显著低于Ⅱ组（$P<0.05$）；第 1~14 天，Ⅲ组 ADFI、ADG 和 ADWI 显著低于Ⅱ组（$P<0.05$）。试验期内，RH 对肉鸡 F/G 没有显著的影响（$P>0.05$）。

表 3 RH 对间歇性偏热环境下肉鸡生长性能的影响

Table 3　Effects of RH at intermittent moderate temperature on growth performance of broilers

| 项目 Items | | 组别 Groups | | |
|---|---|---|---|---|
| | | I | II | III |
| 第 1~7 天 From day 1 to 7 | 平均日采食量 ADFI/g | 145.51±5.82[ab] | 153.72±2.20[a] | 138.20±9.42[b] |
| | 平均日增重 ADG/g | 72.88±4.78[ab] | 79.51±3.91[a] | 67.56±6.35[b] |
| | 料重比 F/G | 1.94±0.08 | 2.05±0.07 | 2.00±0.11 |
| | 平均日饮水量 ADWI/mL | 286.16±3.50[b] | 301.00±10.78[a] | 288.21±3.44[b] |
| 第 8~14 天 From day 8 to 14 | 平均日采食量 ADFI/g | 165.48±3.44[ab] | 171.76±2.73[a] | 158.43±12.55[b] |
| | 平均日增重 ADG/g | 78.37±3.56 | 80.82±3.08 | 68.71±18.98 |
| | 料重比 F/G | 1.93±0.21 | 2.72±1.14 | 2.16±0.26 |
| | 平均日饮水量 ADWI/mL | 365.44±18.72[b] | 391.41±23.17[a] | 377.41±8.12[ab] |
| 第 1~14 天 From day 1 to 14 | 平均日采食量 ADFI/g | 155.78±3.95[a] | 162.58±2.18[a] | 148.01±6.56[b] |
| | 平均日增重 ADG/g | 75.64±3.50[ab] | 80.17±3.27[a] | 68.14±11.95[b] |
| | 料重比 F/G | 1.94±0.14 | 2.38±0.58 | 2.08±0.10 |
| | 平均日饮水量 ADWI/mL | 334.17±5.08[ab] | 346.20±15.08[a] | 325.80±8.71[b] |

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（*P*<0.05），不同大写字母表示差异极显著（*P*<0.01），相同小写字母或无字母表示差异不显著（*P*<0.05）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (*P*<0.05), and with different capital letter superscripts mean significant difference (*P*<0.01), while with the same small letter or no letter superscripts mean no significant difference (*P*>0.05). The same as below.

## 2.2　RH 对间歇性偏热环境下肉鸡行为的影响

RH 对间歇性偏热环境下肉鸡行为的影响结果列于表 4 和表 5。由表 4 可知，试验第 1、

7 和 14 天，Ⅱ组休息行为频次占比显著低于Ⅰ组和Ⅲ组（$P$<0.05），Ⅰ组和Ⅲ组之间没有显著差异（$P$>0.05）。试验第 1、7 和 14 天Ⅱ组采食行为频次占比显著高于Ⅰ组和Ⅲ组（$P$<0.05），且每组占比随时间增加而下降。试验第 1、7 和 14 天，Ⅱ组饮水行为频次占比显著高于Ⅰ组和Ⅲ组（$P$<0.05），Ⅰ组和Ⅲ组之间没有显著差异（$P$>0.05）。试验第 1 天Ⅱ组修饰行为为频次占比显著高于Ⅰ组和Ⅲ组（$P$<0.05）。

由表 5 可知，随着试验天数的增加，坐着休息行为占比逐渐下降，伸展休息行为和俯伏休息行为占比逐渐升高，并且俯伏休息所占比重最大。试验第 1 和 7 天，Ⅰ组和Ⅲ组坐着休息行为占比显著低于Ⅱ组（$P$<0.05）；试验第 7 天，Ⅲ组伸展休息行为占比显著低于Ⅱ组（$P$<0.05），试验第 14 天，Ⅰ组和Ⅲ组伸展休息行为占比显著低于Ⅱ组（$P$<0.05）。试验第 1、7 和 14 天，Ⅰ组和Ⅲ组俯伏休息行为占比显著高于Ⅱ组（$P$<0.05）。

表 4　RH 对间歇性偏热环境下肉鸡休息、采食、饮水和修饰行为频次占比的影响

Table 4　Effects of RH at intermittent moderate temperature on frequency ratio of rest, eating, drinking and preening behaviors of broilers　%

| 项目 Items | 时间 Time | 组别 Groups | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅲ |
| 休息 Rest | 第 1 天 Day 1 | $91.32\pm1.48^{a}$ | $81.22\pm2.46^{b}$ | $91.22\pm1.99^{a}$ |
| | 第 7 天 Day 7 | $92.74\pm2.16^{a}$ | $85.87\pm4.51^{b}$ | $92.05\pm2.36^{a}$ |
| | 第 14 天 Day 14 | $92.81\pm1.65^{a}$ | $86.56\pm4.40^{b}$ | $94.48\pm1.34^{a}$ |
| 采食 Eating | 第 1 天 Day 1 | $1.70\pm0.80^{b}$ | $9.65\pm2.05^{a}$ | $2.33\pm1.61^{b}$ |
| | 第 7 天 Day 7 | $1.98\pm0.87^{b}$ | $5.59\pm3.46^{a}$ | $1.81\pm1.25^{b}$ |
| | 第 14 天 Day 14 | $1.08\pm0.47^{b}$ | $5.28\pm3.53^{a}$ | $0.83\pm0.57^{b}$ |
| 饮水 Drinking | 第 1 天 Day 1 | $0.69\pm0.53^{b}$ | $3.65\pm2.16^{a}$ | $1.11\pm0.11^{b}$ |
| | 第 7 天 Day 7 | $1.77\pm0.60^{b}$ | $3.72\pm1.45^{a}$ | $1.84\pm0.24^{b}$ |
| | 第 14 天 Day 14 | $2.26\pm0.51^{b}$ | $4.48\pm1.66^{a}$ | $2.53\pm0.96^{b}$ |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 第 1 天 Day 1 | 0.17±0.07$^{b}$ | 0.59±0.24$^{a}$ | 0.17±0.13$^{b}$ |
| 修饰 Preening | 第 7 天 Day 7 | 0.17±0.21 | 0.45±0.35 | 0.14±0.16 |
| | 第 14 天 Day 14 | 0.49±0.54 | 0.49±0.33 | 0.17±0.13 |

表 5　RH 对间歇性偏热环境下肉鸡各休息行为占总休息行为百分比的影响

Table 5　Effects of RH at intermittent moderate temperature on percentage of each rest behaviors accounted for the total rest behaviors of broilers　%

| 项目 Items | 时间 Time | 组别 Groups | | |
|---|---|---|---|---|
| | | I | II | III |
| 坐着 Sitting | 第 1 天 Day 1 | 2.70±3.28$^{b}$ | 8.24±2.53$^{a}$ | 2.09±0.84$^{b}$ |
| | 第 7 天 Day 7 | 1.57±0.15$^{b}$ | 2.41±0.81$^{a}$ | 1.51±0.04$^{b}$ |
| | 第 14 天 Day 14 | 0.27±0.36 | 0.66±0.83 | 0.07±0.09 |
| 伸展 Stretching | 第 1 天 Day 1 | 3.22±2.57 | 6.28±3.41 | 1.91±0.38 |
| | 第 7 天 Day 7 | 3.73±1.87$^{ab}$ | 6.80±2.80$^{a}$ | 1.98±1.26$^{b}$ |
| | 第 14 天 Day 14 | 4.45±1.21$^{b}$ | 6.9±0.62$^{a}$ | 2.72±0.52$^{c}$ |
| 俯伏 Prostration | 第 1 天 Day 1 | 94.09±5.79$^{a}$ | 85.47±5.22$^{b}$ | 96±0.70$^{a}$ |
| | 第 7 天 Day 7 | 94.70±2.00$^{a}$ | 90.79±3.15$^{b}$ | 96.51±1.23$^{a}$ |
| | 第 14 天 Day 14 | 95.28±1.17$^{b}$ | 92.43±0.90$^{c}$ | 97.21±0.60$^{a}$ |

## 2.3　RH 对间歇性偏热环境下肉鸡空肠形态结构的影响

RH 对间歇性偏热环境下肉鸡空肠形态结构的影响结果列于表 6。由表可知，II 组绒毛高度大于 I 组和III组，III组数值最低，但组间差异不显著（$P$>0.05）；III组隐窝深度大于 I

组和Ⅱ组，Ⅱ组数值最低，但组间差异不显著（$P>0.05$）。Ⅲ组空肠 V/C 值显著低于Ⅰ组和Ⅱ组（$P<0.05$），Ⅰ组和Ⅱ组没有显著差异（$P>0.05$）。

表 6　RH 对间歇性偏热环境下肉鸡空肠形态结构的影响

Table 6　Effects of RH at intermittent moderate temperature on jejunum morphological structure of broilers

| 项目 Items | 组别 Groups | | |
| --- | --- | --- | --- |
| | I | II | III |
| 绒毛高度 Villus length/μm | 1 502.77±158.19 | 1 554.44±220.05 | 1 477.28±175.12 |
| 隐窝深度 Crypt depth/μm | 163.93±203.83 | 139.61±41.87 | 176.98±33.23 |
| 绒毛高度/隐窝深度 V/C | 12.91±3.89[a] | 13.23±4.37[a] | 8.26±1.14[b] |

## 3　讨　论

### 3.1　RH 对间歇性偏热环境下肉鸡生长性能的影响

动物生长性能反映动物的健康水平和环境舒适情况，是动物福利标准之一。研究发现，恒定高温（35 ℃）会导致家禽生产性能下降[18]，周莹等[19]研究发现间歇性 31 ℃下高湿（85%）显著降低肉鸡的 ADFI 和 ADG。Yahav[20]研究报道，28 和 30 ℃时，5~8 周龄肉鸡体增重在 RH 为 60%~65%达到最大。本试验发现，高湿组 ADFI、ADG 显著低于中湿组，第 1~7 天低湿组、高湿组 ADWI 显著低于中湿组，第 7~14 天低湿组 ADWI 显著低于中湿组，第 1~14 天高湿组 ADWI 显著低于中湿组，说明在 31 ℃间歇性偏热环境下，RH 为 60%时采食和饮水达到最大值。分析其原因可能是高温环境下，高湿会阻碍肉鸡蒸发散热[20-21]，使得肉鸡体温平衡失调，代谢紊乱，造成 ADFI、ADG 和 ADWI 显著降低。高温环境下低湿会促进家禽的蒸发散热，然而 RH 过低可能会造成家禽脱水[22]，危害家禽的健康及生长；湿度过低时，也会导致肉鸡体内水平衡调节受到限制[20]。本文中低湿组 ADWI 低于中湿组，分析原因可能是高温低湿使肉鸡蒸发散热过快，导致肉鸡不舒适，体内水平衡调节紊乱因而饮水行为减少，ADWI 降低。

### 3.2　RH 对间歇性偏热环境下肉鸡行为的影响

研究指出，热应激下，家禽会减少采食，降低代谢热，从而减少产热散热[23-24]。本试验发现，中湿组采食行为频次占比显著高于低湿组和高湿组，说明间歇性 31 ℃下，低湿和高湿都会加重肉鸡热应激程度。湿度降低或提高都可能导致散热受抑制，因而导致采食下降。本试验中，中湿组休息行为频次占比和饮水行为频次占比显著高于低湿组和高湿组，可能是因为中湿时肉鸡热应激程度小，活动量大，采食多，饮水多。在试验第 1 天，中湿组修饰行为频次占比显著高于其他 2 组，这与本课题组胡春红[17]研究结果一致，表明肉鸡在舒适的情况下，修饰行为增多。

在高温条件下，动物体散热首先通过生理和行为等物理性调节，例如增加皮肤血流量或者表现出身体伸展、喘息等[25]。Pickel 等[26]发现，热舒适时肉鸡休息行为以坐着休息为主。本试验中，试验第 1、7 天，低湿组和高湿组坐着休息行为占比显著低于中湿组，试验第 1、7、14 天，低湿组和高湿组俯伏占比显著高于中湿组，说明间接性 31 ℃下，同中湿相比，低湿和高湿显著降低了肉鸡的舒适性。Richards[27]研究发现喘息会增加蒸发散热。随着禽舍温度升高，湿度越大，家禽的呼吸频率越高[28]。Gerken 等[29]发现，热应激下肉鸡会增加翅膀底下的裸区与空气接触的面积，通过裸区皮肤表层的血管向空气中传导热量散热从而降低身体温度。本试验发现，试验第 7 天高湿组伸展休息行为占比显著低于中湿组；第 14 天，低湿组和高湿组显著低于中湿组。说明同中湿相比，高湿对肉鸡伸展休息行为占比影响更大，中湿时肉鸡还可以通过伸展翅膀使翅膀下无羽区裸露增加散热来维持自身体温平衡，而高湿下主要依赖俯伏喘息加快呼吸蒸发散热。

### 3.3 RH 对间歇性偏热环境下肉鸡空肠形态结构的影响

小肠是机体内营养物质吸收和转运的主要部位，空肠是动物小肠中最长的一段，其正常结构是消化吸收营养物质的基础[30]。衡量空肠消化吸收功能的重要指标包括空肠绒毛高度、隐窝深度及 V/C 值[31]。研究表明，肠绒毛高度的长短直接影响动物的生长发育，绒毛缩短会减少与肠道内食糜的接触面积，导致吸收功能下降[32]。绒毛根部上皮内陷入固有层形成的管状腺叫作隐窝，上皮细胞的生成率主要通过隐窝深度反映，隐窝变浅表示成熟上皮细胞数量增加，分泌功能增强[33]。V/C 值能较为综合地反映出小肠的消化吸收能力[34]。本试验中，同中湿相比，高湿显著降低空肠 V/C 值，低湿与中湿无显著差异，说明高湿对空肠影响较大，会显著降低空肠的吸收消化能力。而 V/C 值下降可能是由于黏膜受损，导致消化吸收功能减弱。

综合以上讨论分析得出：同中湿相比，低湿和高湿都引起肉鸡俯伏休息行为增多，采食和饮水行为减少，ADWI 下降；此外高湿还引起空肠消化吸收能力下降，导致 ADG 和 ADFI 下降。

4 结 论

① 间歇性偏热环境下RH影响肉鸡生长性能、坐着休息行为、俯伏休息行为、伸展休息行为、采食行为、饮水行为及空肠形态结构。

② 高湿对肉鸡的ADG、ADFI和空肠形态结构影响比低湿大，因此适宜的RH为60%。

参考文献：


[1] 宁章勇,刘思当,赵德明,等.热应激对肉仔鸡呼吸、消化和内分泌器官的形态和超微结构的影响[J].畜牧兽医学报,2003,34(6):558–561.

[2] LIN H,ZHANG H F,DU R,et al.Thermoregulations responses of broiler chickens to humidity at different ambient temperatures.II.Four weeks of age[J].Poultry Science,2005,84(8):1166–1172.

[3] YAHAV S,PLAVNIK I,RUSAL M,et al.Response of turkeys to relative humidity at high ambient temperature[J].British Poultry Science,1998,39(3):340–345.

[4] 张少帅,甄龙,张敏红,等.急性偏热处理对肉仔鸡体热调节功能的影响[J].动物营养学报,2016,28(2):402–409.

[5] ASPEY W P,LUSTICK S I.Behavioral energetics:the cost of survival in vertebrates[M].Columbus:Ohio State University Press,1983.

[6] MACK L A,FELVER-GANT J N,DENNIS R L,et al.Genetic variations alter production and behavioral responses following heat stress in 2 strains of laying hens[J].Poultry Science,2013,92(2):285–294.

[7] 张灿菲.精氨酸对急性热应激鸡肠道黏膜免疫的影响[D].硕士学位论文.武汉:华中农业大学,2008.

[8] MITCHELL M A,CARLISLE A J.The effects of chronic exposure to elevated environmental temperature on intestinal morphology and nutrient absorption in the domestic fowl (*Gallus domesticus*)[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part A:Physiology,1992,101(1):137–142.

[9] ADAMS R L,ROGLER J C.The effects of dietary aspirin and humidity on the performance of light and heavy breed chicks[J].Poultry Science,1968,47(4):1344–1348.

[10] MILLIGAN L J,WINN N P.The influence of temperature and humidity on broiler performance in environmental chambers[J].Poultry Science,1964,43(4):817–824.

[11] KAMAR G A R,KHALIFA M A S.The effect of environmental conditions on body temperature of fowls[J].British Poultry Science,1964,5(3):235–244.

[12] YAHAV S,GOLDFELD S,PLAVNIK I,et al.Physiological responses of chickens and turkeys to relative humidity during exposure to high ambient temperature[J].Journal of Thermal Biology,1995,20(3):245–253.

[13] 胡春红,张敏红,冯京海,等.偏热刺激对肉鸡休息行为、生理及生产性能的影响[J].动物营养学报,2015,27(7):2070–2076.

[14] 张少帅,甄龙,冯京海,等.持续偏热处理对肉仔鸡免疫器官指数、小肠形态结构和黏膜免疫指标的影响[J].动物营养学报,2015,27(12):3887–3894.

[15] 彭骞骞,王雪敏,张敏红,等.持续偏热环境对肉鸡盲肠菌群多样性的影响[J].中国农业科学,2016,49(1):186–194.

[16] 张敏红,苏红光,冯京海,等.采集用于建立肉鸡生活环境舒适性评价模型数据的方法和专用装置:中国,CN103404447A[P].2013-11-27.

[17] 胡春红.环境温度对肉鸡生理和行为调节的影响[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2015.

[18] DONKOH A.Ambient temperature:a factor affecting performance and physiological response of broiler chickens[J].International Journal of Biometeorology,1989,33(4):259–265.

[19] 周莹,彭骞骞,张敏红,等.相对湿度对间歇性偏热环境下肉鸡体温、酸碱平衡及生产性能的影响[J].动物营养学报,2015,27(12):3726–3735.

[20] YAHAV S.Relative humidity at moderate ambient temperatures:its effect on male broiler chickens and turkeys[J].British Poultry Science,2000,41(1):94–100.

[21] 顾宪红,杜荣,林海.湿度和风速对高温条件下肉仔鸡体热平衡及其血浆相关激素水平的影响[J].动物营养学报,1997,9(4):44–49.

[22] FREEMAN B M.The domestic fowl in biomedical research:physiological effects of the environment[J].Worlds Poultry Science Journal,1988,44(1):41–60.

[23] MAY J D,LOTT B D.Feed and water consumption patterns of broilers at high environmental temperatures[J].Poultry Science,1992,71(2):331–336.

[24] ETCHES R J,JOHN T M,GIBBINS A M V.Behavioural,physiological,neuroendocrine and molecular responses to heat stress[M]//DAGHIR N J.Poultry production in hot climates.Wallingford，UK:CAB International,2008:31–66.

[25] 颜培实,李如治.家畜环境卫生学[M].北京:高等教育出版社,2011.

[26] PICKEL T,SCHOLZ B,SCHRADER L.Roosting behaviour in laying hens on perches of different temperatures:trade-offs between thermoregulation,energy budget,vigilance and resting[J].Applied Animal Behaviour Science,2011,134(3/4):164–169.

[27] RICHARDS S A.Physiology of thermal panting in birds[J].Annales de Biologie Animale Biochimie Biophysique,1970,10:151–168.

[28] SEVEN P T,SEVEN I,YILMAZ M,et al.The effects of Turkish propolis on growth and carcass characteristics in broilers under heat stress[J].Animal Feed Science and Technology,2008,146(1/2):137–148.

[29] GERKEN M,AFNAN R,DÖRL J.Adaptive behaviour in chickens in relation to thermoregulation[J].Archiv Fur Geflugelkunde,2006,70(5):199–207.

[30] 王晓亮.热应激条件下热休克蛋白70对鸡肠道结构和消化功能的影响[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2010.

[31] WU Y B,RAVINDRAN V,THOMAS D G,et al.Influence of method of whole wheat inclusion and xylanase supplementation on the performance,apparent metabolisable energy,digestive tract measurements and gut morphology of broilers[J].British Poultry Science,2004,45(3):385–394.

[32] EID Y Z,OHTSUKA A,HAYASHI K.Tea polyphenols reduce glucocorticoid-induced growth inhibition and oxidative stress in broiler chickens[J].British Poultry Science,2003,44(1):127–132.

[33] 王子旭,佘锐萍,陈越,等.日粮锌硒水平对肉鸡小肠黏膜结构的影响[J].中国兽医科技,2003,33(7):18–21.

[34] 杨凤娟,曾祥芳,谯仕彦.罗伊氏乳杆菌I5007对新生仔猪肠道形态、二糖酶活性和紧密连接蛋白表达的影响[J].中国农业科学,2014,47(22):4506–4515.

Effects of Relative Humidity at Intermittent Moderate Temperature on Growth Performance, Behavior and Jejunum Morphological Structure of Broilers

LI Xiumei GAO Jie FENG Jinghai ZHOU Ying ZHANG Minhong*

(*State Key Laboratory of Animal Nutrition*, *Institute of Animal Science*, *Chinese Academy of Agricultural Sciences*, *Beijing* 100193, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of relative humidity (RH) on growth performance, behavior and jejunum morphological structure of broilers at intermittent moderate temperature of 31 ℃. A total of 180 Arbor Acres broilers of 22-day-old were randomly divided into three environment chambers, each chamber contained six cages with ten birds per cage (with five males and five females), and each cage as a replicate. The pre-test period lasted for 7 days and broilers were kept at 21 ℃ and 60% RH. The trial period lasted for 14 days. When broilers were 29-day-old, the temperature of groups Ⅰ, Ⅱ and Ⅲ were kept constant at 31 ℃ each day at 10:00—16:00 (6 h), while regulating the RH to 30%, 60% and 85%, respectively; and the rest of time, broilers were kept at 21 ℃ and 60% RH. The results showed as follows: 1) average daily food intake (ADFI), average daily gain (ADG) and average daily drinking water in group Ⅲ showed significantly lower than those in group Ⅱ ($P$<0.05) during 1 to 14 days of the trial. 2) At the first day, the seventh day and the fourteenth day of the trial period, the frequency of total resting behavior in group Ⅱ was significantly lower than that in groups Ⅰ and Ⅲ ($P$<0.05), and the frequency of eating and drinking in group Ⅱ was significantly higher than that in groups Ⅰ and Ⅲ ($P$<0.05). 3) At the first day and the seventh day of the trial period, the percentage of sitting rest in groups Ⅰ and Ⅲ was significantly lower than that in group Ⅱ ($P$<0.05). At the seventh day of the trial period, the percentage of stretching rest in group Ⅲ was significantly lower than that in group Ⅱ ($P$<0.05), and at the fourteenth day, the percentage of stretching rest in groups Ⅰ and Ⅲ was significantly lower than that in group Ⅱ ($P$<0.05). Moreover, at the first day, the seventh day and the fourteenth day, the percentage of prostration rest in groups Ⅰ and Ⅲ was significantly higher than that in group Ⅱ ($P$<0.05). 4) The ratio of villus height to crypt depth of jejunum in group Ⅲ was significantly lower than that in groups

Ⅰ and Ⅱ ($P$<0.05). In conclusion, at the intermittent thermal of 31 ℃, different RH levels can produce different effects on growth performance, behavior and jejunum morphological structure of broilers. And the high humidity has a greater impact on ADG, ADFI and jejunum morphological structure than the low humidity as well as the appropriate humidity is 60%.

Key words: relative humidity; intermittent moderate environment; broilers; growth performance; behavior; jejunum morphological structure

---

*Corresponding author, professor, E-mail: zmh66@126.com (责任编辑　田艳明)